

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-176817

(43) 公開日 平成7年 (1995) 7月14日

(51) Int. Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H01S 3/10		Z		
C03C 13/04				
G02B 6/00	376	B		
H01S 3/07				
3/17				

審査請求 未請求 請求項の数12 (全 6 頁)

最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平6-257360

(22) 出願日 平成6年 (1994) 9月28日

(31) 優先権主張番号 129825

(32) 優先日 1993年9月30日

(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 390035493

エイ・ティ・アンド・ティ・コーポレーション

AT&T CORP.

アメリカ合衆国 10013-2412 ニューヨ

ーク ニューヨーク アヴェニュー オブ
ジ アメリカズ 32

(72) 発明者 ダビッド ジョン デジオパニ

アメリカ合衆国、07042 ニュージャージ
ー、モントクレアー、モントクレアー ア
ベニュー 50

(74) 代理人 弁理士 三俣 弘文

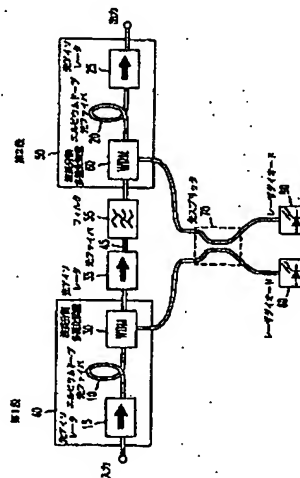
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光信号増幅装置

(57) 【要約】

【目的】 長距離光通信システムにおいて、リピーターとして用いられるのに適した高出力パワー、高ゲイン、ローノイズの二段構成の光ファイバ増幅器を提供することである。

【構成】 本発明の長距離通信用の二段構成の光増幅器は、増幅された励起放射 (ASE) による自己飽和を回避するほど小さい信号ゲインを有し、この第1増幅媒体の最大反転分布を達成するために、反対方向に伝搬する光信号を用いる。また、エルビウムドープ光ファイバ (EDFA) を、二つの増幅段の各々に用いる。第1増幅段のEDFAの長さは、信号とは反対方向に伝搬するポンプ光からのEDFAのほぼ完全な反転分布が達成できる程度に短いものである。この反対方向に伝搬するポンプ光により、同方向に伝搬するポンプ光の入力損失から、大きなノイズ係数損失を回避できる。この装置は、さらに、フィルタ、アイソレータ、減衰器のような受動光学素子を有する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 (A) 第1の所定信号ゲインを有し、増幅された自然放射による自己飽和がない、入力光信号を増幅する第1増幅手段(40)と、

(B) 前記第1増幅手段の出力に接続され、前記第1増幅手段が、反転分布を達成できるように、前記第1手段を、反対方向に伝搬するポンプ光でポンピングするポンピング手段(70, 80, 90)と、

(C) 第2の所定の信号ゲインを有し、前記第1増幅手段(40)からの光信号を所定の出力信号パワーに増幅する第2増幅手段(50)と

(D) 前記第1増幅手段(40)の出力を、前記第2増幅手段(50)の入力に結合する結合手段(45)とからなることを特徴とする光信号増幅装置。

【請求項2】 前記第1増幅手段(40)は、エルビウムドープ光ファイバ増幅器(10)を有することを特徴とする請求項1の装置。

【請求項3】 前記第2増幅手段(50)は、エルビウムドープ光ファイバ増幅器(20)を有することを特徴とする請求項1の装置。

【請求項4】 前記所定の信号ゲインは、1540~1565nmの波長の範囲で、10~25dBの範囲内の値に等しいことを特徴とする請求項2の装置。

【請求項5】 前記第2増幅手段(50)を、反対方向に伝搬するポンプ光でポンピングする第2ポンピング手段(70, 80, 90)をさらに有することを特徴とする請求項1の装置。

【請求項6】 前記第2増幅手段(50)は、第2ポンピング手段に結合されて、前記第2増幅手段を同一方向に伝搬するポンプ光で増幅されることを特徴とする請求項1の装置。

【請求項7】 前記結合手段は、前記第2増幅手段内の増幅された自然放射を、前記第1増幅手段から分離するアイソレータ手段(35)を有することを特徴とする請求項4の装置。

【請求項8】 前記結合手段は、前記増幅された光信号から、信号バンド範囲の外側の波長成分を除去するために、前記増幅された光信号をろ波するフィルタ手段(55)を有することを特徴とする請求項7の装置。

【請求項9】 前記結合手段は、前記増幅された光信号から、1530nmに等しい波長成分を除去するフィルタ手段を有することを特徴とする請求項7の装置。

【請求項10】 前記第2増幅手段は、前記の増幅された光信号を減衰させる手段(295)を有することを特徴とする請求項9の装置。

【請求項11】 前記第2増幅手段は、反射光から前記第2光増幅手段の出力を分離するアイソレータ手段(25)を有することを特徴とする請求項8の装置。

【請求項12】 前記第1増幅手段は、反射光から前記第1増幅手段の入力を分離するアイソレータ手段(1

5)を有することを特徴とする請求項11の装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、光通信の光増幅器に関し、特に、高出力パワーと高ゲインとローノイズを有する二段階構成の光増幅器に関する。

【0002】

【従来技術の説明】 光増幅器は、様々なパラメータ、例えば、ゲイン、出力パワー、圧縮(すなわち、ゲイン飽和)とノイズ要素を考慮して設計される。このノイズ性能は、光増幅器の入力点のSN比を、出力点のSN比で割った値で定義されるノイズ指数によって決定される。この光増幅器が、リピータとして用いられるときには、光増幅器は、極めて低いノイズ指数で、かつ、高出力パワーで動作して、光通信システム内の隣接して配置されるリピータの間の距離を最大にする。例えば、将来の光通信システムにおいては、隣接するリピータ間の距離は、現在の40kmから、将来には100km以上にするのが好ましい。また、高出力パワーは、この光通信システムにおいて、リピータが、多重化チャネルを採用する場合には、特に好ましい。さらに、このリピータは、リピータ間の光ファイバスパンにおける損失を補償するような充分なゲインがなければならない。

【0003】 従来の光増幅装置は、複数のエルビウムドープ光ファイバ段を用いて、光増幅器のゲイン特性を改善している。この従来の装置においては、2つの増幅器段は、受動光学要素によって分離されている。これらの受動光学要素は、多くのリピータ装置において必要で、例えば、アイソレータ、フィルタ、ポンプ、多重化装置のようなものがある。一般的に、従来技術においては、受動光要素は、光増幅器の入力、または、出力のいずれかの位置に配置されていた。しかし、この従来の構成においては、2つの段の間の受動要素は、多数段の増幅器にたいし高ゲインを補償し、かつ、受動要素が単一段の増幅器の入力点に配置されると発生するノイズの上昇を回避し、あるいは、受動要素が単一段の増幅器の出力点に配置されたときに発生する出力パワーのロスを回避する。この従来の多段光増幅器は、ある種の応用においては満足すべきものであるが、将来の長距離光通信システムにおいて、リピータとして用いられるには限界がある。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 したがって、本発明の目的は、長距離光通信システムにおいて、リピータとして用いられるのに適した高出力パワー、高ゲイン、ローノイズの二段構成の光ファイバ増幅器を提供することである。

【0005】

【課題を解決するための手段】 本発明の長距離通信用の二段構成の光増幅器は、増幅された励起放射(amplifie

d stimulated emission: ASE) による自己飽和を回避するほど小さい信号ゲインを有し、この第1増幅媒体の最大反転分布を達成するために、反対方向に伝搬する光信号を用いる。

【0006】また、本発明によれば、エルビウムドープ光ファイバ (erbium-doped fiber amplifire: EDF A) を、二つの増幅段の各々に用いる。第1増幅段のEDFAの長さは、信号とは反対方向に伝搬するポンプ光からのEDFAのほぼ完全な反転分布が達成できる程度に短いものである。この反対方向に伝搬するポンプ光により、同方向に伝搬するポンプ光の入力損失から、大きなノイズ指数損失を回避できる。このノイズ指数が改良される理由は、完全な反転分布が第1段のEDFA内の全てで、特に、ノイズ指数が、反転分布に最も敏感な入力点において達成されるからである。第1段のEDFAの長さが短いために、ノイズ指数を悪化させる増幅励起放射から、EDFAの自己飽和を取り除くことができる。しかし、第1段のEDFAの長さは、十分なゲインを与える程度に長く、その結果、二段構成の増幅器のノイズ指数は、全体として、第1段のノイズ指数に主に決定される。第2段のEDFAは、さらに、信号増幅を達成するために、同一方向に伝搬するポンプ光、あるいは、反対方向に伝搬するポンプ光を用いて、長距離光通信システムに必要な出力パワーとゲインを提供するように構成される。本発明の装置は、さらに、フィルタ、アイソレータ、減衰器のような受動光学素子を有する。

【0007】

【実施例】図1において、光増幅器は、エルビウムドープ光ファイバ10とエルビウムドープ光ファイバ20をそれぞれ有する2つの段、第1段40、第2段50を有する。第1段40において、波長分割多重化装置30は、第1段40の入力点の光信号に対し、反対方向に伝搬するポンプソースからの光を導入する。光アイソレータ15は、第1段40の入力点とエルビウムドープ光ファイバ10との間に配置されて、反射とポンプソースの発振を抑制する。エルビウムドープ光ファイバ、波長分割多重化装置、光アイソレータは、従来公知のものである。

【0008】ポンプ光は、レーザダイオード80により生成され、その波長は、例えば、980nm、あるいは、1480nmである。ある種の応用に好ましいものとしては、レーザダイオード90を用いて、光増幅器の第2段50内で用いられるポンプ光を生成することである。別法として、1個のレーザダイオードを、光スプリッタ70に結合して、光増幅器の第1段40と第2段50の間にポンプ光を分散してもよい。あるいは、レーザダイオード80とレーザダイオード90を光スプリッタ70に結合して、一方のレーザダイオードが故障した場合にも、両方の段にポンプ光が導入されるよう、信頼性を向上してもよい。ある種の応用においては、光スプリ

ッタ70は、3dBのスプリッタである。このレーザダイオードとスプリッタは、公知である。ある種の応用においては、光スプリッタ70内における分離比は、50%以上であるのが好ましい。

【0009】第1段40内に反対方向に伝搬するポンプ光を用いることにより、全体として、二段階の光増幅器のノイズ指数が非常に低くなる。ここで、ノイズ指数とは、光増幅器の入力点におけるSN比を、出力点におけるSN比で割ったものである。非常に低いノイズ指数が達成できる理由は、反対方向に伝搬するポンプ光を用いると、第1段40内で同一方向に伝搬するポンプ光を用いた場合よりも、エルビウムドープ光ファイバ10の入力点における波長分割器からの損失を回避できるからである。さらに、低ノイズ指数は、エルビウムドープ光ファイバ10の長さを十分に短くして、エルビウムドープ光ファイバ10が、強力にポンピングされた反対方向に伝搬するポンプ光からの完全な反転分布を達成でき、そして、エルビウムドープ光ファイバ10が、この増幅された励起放射(ASE)により、自己飽和が少なくなるようにして達成できる。このように、エルビウムドープ光ファイバ10を短くすることにより、エルビウムドープ光ファイバ10は、その入力点で、完全な反転分布が達成でき、ノイズ指数は、入力点での反転分布の程度に最も敏感なために重要である。エルビウムドープ光ファイバ10の長さを第1段40で十分なゲインが得られる程度に長くすると、二段階の増幅器のノイズ指数は、全体として、第1段40により、主に決定される。例えば、波長が1540nm~1565nmの間の範囲内で、約10dB~25dBの間のポンピングのもとでの小さな信号ゲインは、エルビウムドープ光ファイバ10の入力点におけるポンプ光は、反転分布を高程度に維持するのに充分であるよう補償するのに有効である。本発明によれば、極めて低いノイズ指数は、反対方向に伝搬するポンプ光によって達成できる、という事実は、従来技術の観点からは予測できないことである。この従来技術が教えるところによれば、同一方向に伝搬するポンプ光を用いて、低いノイズ指数を達成するのに必要なエルビウムドープ光ファイバの入力点における良好な反転分布が達成できるとされていた。

【0010】第1段40と第2段50は、光ファイバ45で接続され、第1段40からの増幅された光出力は、第2段50の入力点に入力される。光アイソレータ35とフィルタ55が、光ファイバ45上に配置されて、第2段50からの逆方向に伝搬する増幅励起放射が、第1段40に到達しないようにし、その結果、第1段40への入力点における反転分布を減少させずに、そして、この入力点においては、逆方向に伝搬する増幅励起放射パワーは最高になり、ノイズ指数はこの反転分布に最も敏感である。フィルタ55を調整して、光ファイバ45に沿って両方向に伝搬する信号バンド幅外の波長成分を除

去する。これにより、第2段50内において、増幅励起放射による自己飽和を最小にする。しかし、ある種の応用分野においては、フィルタ55を、特に、調整して、1530nmとその近傍の波長成分を除去するようにしてもよい。1530nmとその近傍の波長における増幅励起放射は、最大のスペクトル密度を有し、例えば、他の波長においては、10~15dBであり、そして、最大の反転分布を劣化させる影響を有する。その理由は、フィルタ55により、1530nm近傍の波長が除去されないと、強力な放射交差部分が存在するからである。

【0011】第2段50は、波長分割多重化装置60を有し、ポンプ光をエルビウムドープ光ファイバ20と光アイソレータ25に結合し、この光アイソレータ25は、反射に関連する発振とノイズ指数を抑制する。波長分割多重化装置60を配置して、ポンプ光をエルビウムドープ光ファイバ20内に導入し、そのポンプ光は、信号と同一方向に伝搬して、ノイズ指数を劣化させることなく、信号のゲインを得ることができる。エルビウムドープ光ファイバ20の長さは、強力なポンピングでもって有効なゲインと出力パワーが実現できるように形成される。本発明による二段増幅器は、6dBゲイン圧縮と45mWレーザからの980nm波長のポンプ光により、25dB以上のゲインと、10dBm以上の出力パワーと、3.4dB以下のノイズ指数を有する。

【0012】図2は、本発明の第2の実施例で、図1の構成にたいし、第2段の後に減衰（損失）要素が追加されている。この減衰器295を追加することにより、二段増幅器は、ソリトン長距離海底伝送システムのような低出力パワーから中程度の出力パワーが必要な応用に用いられる。この減衰器295を追加することにより、伝送光ファイバの非線形光プロセスに関連する損失を回避するために、低ノイズ指数用に必要の高ポンプパワーから得られた余分な信号パワーを減衰させることができる。しかし、この二段増幅器のゲインは、減衰器295を追加したことにより、その分だけ増加させなければならない。従来技術においては、このようなゲインの増加は、自己飽和に起因するノイズを導入する。しかし、本発明によれば、第1段40内の自己飽和は回避され、第2段50内での自己飽和は最小にされているので、減衰器295により最大の利点が得られる。同時に、ノイズ指数を直接増加させるような入力損失は、第1段40内の反対方向に伝搬するポンプ光構成により回避できる。

【0013】図3の構成は、図2の構成に比較して、第1段40の入力点におけるアイソレータが取り除かれている。この構成により、ノイズ指数の利点の他に、さらに、入力損失を低下させることができる。この実施例においては、エルビウムドープ光ファイバ10は、第1、第2の実施例におけるよりもさらに短く、二段増幅器の反射に関連するノイズ指数損失とマルチパス干渉とを回

避できる。例えば、長距離通信システムにおいて、上流方向への伝送光ファイバがレイレー散乱に起因する反射を、約-30dBのレベルまで上げると、第1段40のゲインは、十分に低く設定して、マルチパス干渉は、その性能を劣化させるような高レベルにならなければならない。

【0014】図4と図2の構成は、類似するが、ただし、レーザダイオード405からの単一のポンプ信号は、波長分割多重化装置465に入り、第2段50内を反対方向に伝搬する。その後、第2段50の残留ポンプパワーは、波長分割多重化装置60と波長分割多重化装置30と光ファイバ490を介して、第1段40に結合される。このようにして、複数のポンプ光ソースとスプリッタを用いる必要がない。この図4の構成は、高パワーを必要としないような応用に適している。その結果、ポンプ光は、第2段50を通過した後でも、第1段40の入力段において、高程度の反転分布を確保する程度、十分なパワーをまだ有している。

【0015】
20 【発明の効果】以上述べたように、本発明の二段構成の増幅器は、光信号と反対方向に伝搬するポンプ光を用いることにより、高パワー、高ゲインで低ノイズ指数の増幅器を達成できる。特に、第2の実施例においては、減衰器295を第2段50の後に配置したために、余分な光パワーを減衰させることができる。さらに、第3の実施例においては、第1段40内で光アイソレータ15を取り除いたために、低パワーの入力信号を増幅できる。さらに、第4の実施例においては、減衰器295を増設したために、単一のレーザダイオード405のみを用い
30 て、入力信号を増幅できる利点がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例による二段増幅器の光増幅器のブロック図。

【図2】図1の第1の実施例にたいし、第2段の増幅器の後に減衰器を付加した第2の実施例のブロック図。

【図3】本発明の第3の実施例のブロック図。

【図4】本発明の第4の実施例のブロック図。

【符号の説明】

- 10・20 エルビウムドープ光ファイバ
- 15・25・35 光アイソレータ
- 30・60 波長分割多重化装置
- 40 第1段
- 45 光ファイバ
- 50 第2段
- 55 フィルタ
- 70 光スプリッタ
- 80・90 レーザダイオード
- 295 減衰器
- 405 レーザダイオード
- 50 465 波長分割多重化装置

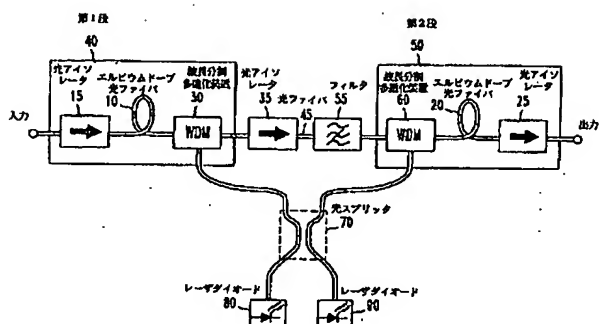
(5)

7

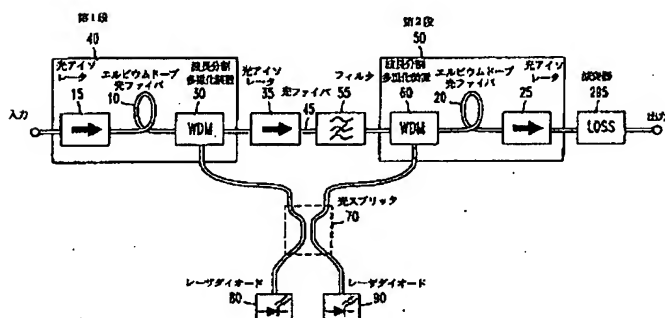
8

490 光ファイバ

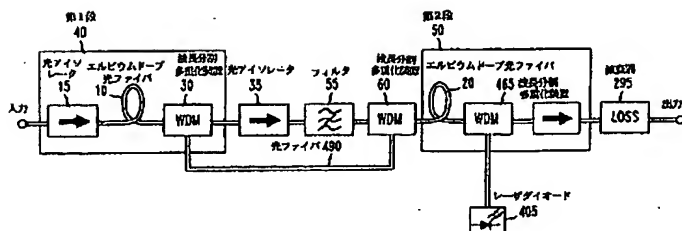
【図1】



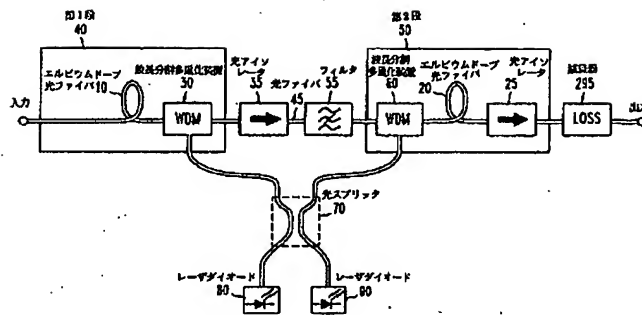
【図2】



【図4】



【図3】



フロントページの続き

(72)発明者 ジョセフ デー. エバンノウ
アメリカ合衆国、07722 ニュージャージー、
コルツ ネック、 ヒアレア ドライブ 1
(72)発明者 ジョナサン エー. ナゲル
アメリカ合衆国、07728 ニュージャージー、
フリーホールド、ハーディング ロード 232ビー

(72)発明者 リチャード ゴードン スマート
アメリカ合衆国、60563 イリノイ、ネイ
パビル、レイモンド ドライブ 1531
(72)発明者 ジェームズ ダブリュ サルホフ
アメリカ合衆国、07712 ニュージャージー、
オーシャン、ディール ロード 1147
(72)発明者 ジョン レーラ ジスキント
アメリカ合衆国、07702 ニュージャージー、
シユリユーズベリー、パーク アベニュー 106